

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 195 45 008 A 1

⑳ Aktenzeichen: 195 45 008.8  
㉑ Anmeldetag: 2. 12. 85  
㉒ Offenlegungstag: 5. 8. 97

⑥ Int. Cl. 8:  
G 01 M 15/00  
G 01 M 7/00  
G 01 M 13/00  
B 23 Q 17/00

DE 195 45 008 A 1

㉓ Anmelder:  
Reilhofer KG, 85757 Karlsfeld, DE

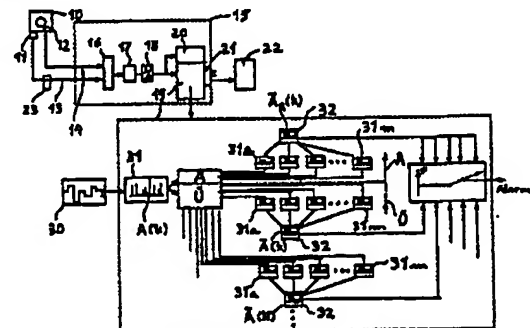
㉔ Erfinder:  
Huber, Karl, Dr.-Ing., 85072 Eichstätt, DE

㉕ Entgegenhaltungen:  
DE 32 45 505 C2  
DE 38 12 474 A1  
DE 37 34 487 A1  
EP 02 11 212  
WO 94 15 288

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉖ Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung von Maschinen

㉗ Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung von periodisch arbeitenden Maschinen zur Früherkennung von Maschinenveränderungen beschrieben, bei dem mittels eines Überwachungssensors (11) maschinenspezifische Meßsignale erfaßt und in einer Auswerteeinheit (15, 16) verarbeitet werden. Die Auswerteeinheit ist derart ausgelegt, daß sie zwischen einem Ausgangsmodus (A) und einem Überwachungsmodus (O) unterscheidet. Im Ausgangsmodus wird unter Verwendung einer Serie von Meßsignalen (13) des Sensors (11) eine das Ausgangsverhalten der Maschine (10) dokumentierende Referenz ermittelt und abgespeichert. Die im anschließenden Überwachungsmodus nach gleichen Kriterien verarbeiteten Meßsignale (13) werden mit der Referenz zur Erkennung von Maschinenveränderungen verglichen und bei Überschreiten eines im Ausgangsmodus ermittelten Instabilitätsmaßes wird die Maschinenänderung angezeigt.



DE 195 45 008 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung von periodisch arbeitenden Maschinen zur Früherkennung von Maschinenveränderungen, wobei mittels eines Überwachungssensors maschinenspezifische Meßsignale erfaßt werden, die in einer Auswerteeinheit mit einer Referenz verglichen werden.

Die Überwachung von Maschinen im Betrieb und die Erkennung eines Schadens, wie Abnutzung, Materialermüdung, Risse und dergleichen im frühen Stadium ist bekannt. Der Überwachung liegen maschinenspezifischen Meßgrößen zugrunde, die von einem Sensor geliefert werden. Meßgrößen können Beschleunigungen, Dehnungen, Schwingungen, etc. sein, die beim Eintreten eines Schadens eine Änderung erfahren.

Aus der DE 38 12 474 ist eine Einrichtung der oben genannten Art zur Überwachung der Schuppenbildung an Wälzlagern bekannt, bei der ein Sensor zur Erfassung von akustischen Emissionen am Lager montiert ist. In einem Komparator werden die Meßsignale eines vorbestimmten Frequenzbereichs, der für Schäden der vorstehenden Art repräsentativ ist, mit entsprechenden Referenzwerten verglichen. Diese Einrichtung ist jedoch nur für den gesonderten Einsatz geeignet.

Für den Einsatz in unterschiedlichen Überwachungssystemen wird in der DE 32 45 505 ein Verfahren unter Verzicht auf eine Referenz vorgeschlagen. Hier werden Schallsignale im hochfrequenten bzw. im tieffrequenten Bereich mittels zwei entsprechend angeordneten Sensoren erfaßt und zu einer Größe verarbeitet, deren Anstieg zu überwachen ist. Aber auch dieses Verfahren hat begrenzte Einsatzmöglichkeiten. Gemäß der DE ist das Verfahren zur Überwachung von Wälzlagern, Getrieben und Turbinenanlagen vorgesehen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu entwickeln, das universell einsetzbar ist.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Hier wird beim Einsatz der Überwachungseinrichtung aus den vom Sensor gelieferten Meßsignalen eine Referenz ermittelt, die das Verhalten der zu überwachenden Maschine im Anfangs- bzw. Ausgangszustand darstellt. Damit wird eine maschinenbezogene Referenz verwendet, die unabhängig vom Typ der Maschine direkt aus den Meßsignalen ermittelbar ist, und zwar immer dann, wenn die Überwachungseinrichtung einen Einsatz an einer neuen Maschine beginnt. Damit findet das Verfahren eine universelle Einsatzmöglichkeit, wobei aufgrund der Kenntnis des Anfangsverhaltens der Maschine eine sensible Überwachung während des Betriebs möglich ist.

Das Verfahren ist vorzugsweise in zwei Arbeitsphasen aufgeteilt, nämlich in einen Ausgangsmodus für die Ermittlung der Referenz und einen Überwachungsmodus für die eigentliche Überwachung. In dem Ausgangsmodus wird die z. B. das maschinenbezogene Schwingungsverhalten darstellende Referenz ermittelt und gespeichert, die in dem anschließend einsetzenden Überwachungsmodus Verwendung findet. Der Wechsel zwischen beiden Modi erfolgt vorzugsweise automatisch. Das den Einsatz des Ausgangsmodus auslösende Signal kann beispielsweise durch den Wechsel des Sensors von einer Maschine zu einer anderen hervorgerufen werden. Die Einleitung des Ausgangsmodus kann aber auch manuell durch Betätigung eines Schalters erfolgen, während der Übergang vom Ausgangsmodus zum Überwachungsmodus automatisch erfolgt.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist somit universell bei allen periodisch arbeitenden Maschinen einsetzbar und kann bei Bedarf von Maschine zu Maschine gewechselt werden, ohne Referenzwerte einspielen oder das Verhalten der Maschine im Schadensfall durch Vorversuche ermitteln zu müssen.

Das erfindungsgemäße Verfahren hat den weiteren Vorteil, daß die Überwachung von mehreren Maschinen mit nur einem Überwachungsgerät durchgeführt werden kann. Es ist dabei möglich mehrere Maschinen gleichzeitig, d. h. im Parallelbetrieb zu überwachen, indem jedem Überwachungssensor eine Meßstrecke zugeordnet wird. Werden die Maschinen abwechselnd betrieben, dann ist nur eine Meßstrecke erforderlich, die bei Bedarf dem Sensor der jeweilig zu betreibenden Maschine zugeschaltet wird.

In beiden Fällen werden die Referenzen mit den dazugehörenden Einstellungen, wie z. B. die an die Maschine angepaßte Empfindlichkeit, die Maschinenzuordnung der jeweiligen Maschine abgespeichert, so daß sie im Überwachungsmodus abrufbar zur Verfügung stehen.

Gemäß einer Maßnahme der Erfindung wird aus den vom Sensor gelieferten Zeitsignalen mittels Fouriertransformation für den Maschinenzyklus ein Frequenzspektrum erstellt und aus den Frequenzsignalen von mindestens zwei, vorzugsweise von mindestens zehn Frequenzspektren Mittelwerte der einzelnen Frequenzordnungen errechnet, die die Grundlage des Verfahrens für die Überwachung bildet. Damit wird ein statistisch abgesichertes Ergebnis erreicht, mit dem der Einfluß zyklischer Schwankungen verringert wird.

Da die in der Technik vorkommenden Signale in der Regel Frequenzen enthalten, die nur bis zu einer oberen Grenze reichen, kann sich die Analyse auf eine endliche Anzahl von Ordnungen beschränken.

In den nach vorstehender Methode ermittelten Meßwerten sind außer den betriebsbedingten Informationen auch solche Informationen eingebunden, die aus betriebsbedingten instabilen Zuständen, wie Lastschwankungen, hervorgerufen werden und die zu einem Signalausbruch führen. Damit bildet die Gesetzmäßigkeit des Maschinenbetriebs die Grundlage der Überwachung. Diese bietet eine sensible Methode zur rechtzeitigen Erkennung eines eintretenden Maschinenschadens oder einer Unregelmäßigkeit im Arbeitsprozeß der Maschine, indem eine Änderung des Verhaltens oder der Gesetzmäßigkeit der Maschine zur Deutung auf eine Veränderung der Maschine verwertet werden kann. Demzufolge ist mit Hilfe leicht anzubringender Sensoren ein zuverlässiges Verfahren zur Früherkennung von Maschinenschäden sowie zur Überwachung von Prozeß- oder Fertigungsabläufen geschaffen, im letzteren Fall, wenn eine Unregelmäßigkeit im Prozeßablauf sich in einem gekünderten Maschinenverhalten dokumentiert.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist zudem vom Benutzer ohne besondere Anleitung überall dort einsetzbar, wo periodisch arbeitende Maschinen einer Überwachung bedürfen. Die Ermittlung der Gesetzmäßigkeit ist

Auf diese Weise werden die vom Sensor 11 gelieferten Meßsignale über die gesamte Überwachungsdauer, d. h. sowohl im Ausgangs- als auch Überwachungsmodus A bzw. U verarbeitet. Jedes mittlere Spektrum 32 enthält sowohl betriebsbedingte Signale als auch betriebsbedingte Unregelmäßigkeiten und stellt jeweils das aktuelle Verhalten der Maschine dar.

- Um zu einen statistisch abgesicherten Ergebnis zu kommen, wird jede Ordnung bzw. Spektrallinie hinsichtlich Standardabweichung in der Amplitudenhöhe bewertet. Hierzu wird aus den Spektren 31a bis 31m und dem Mittelwert  $\bar{A}(k)$  Standardabweichungen  $S(k)$  für jede Spektrallinie nach folgender Formel errechnet:

$$S(k) = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (A(k,i) - \bar{A}(k))^2} \quad (\text{III})$$

- Die im Ausgangsmodus A errechnete Standardabweichung  $S(k)$  wird als Referenz-Standardabweichung  $S_R(k)$  der jeweiligen Frequenzordnung abgespeichert. Für eine Überwachung von mehreren Maschinen im Parallelbetrieb oder im Wechsel werden die Referenzwerte  $S_R(k)$  und die weiter unten definierten Referenzmittelwerte  $\bar{A}_R(k)$  mit einem Kennwort jeder Maschine gespeichert und im Überwachungsmodus U entsprechend abgerufen.

- Bei gleichzeitiger Überwachung von mehreren Maschinen wird jedem Sensor 11 eine Meßstrecke 13, 16, 17, zugeordnet. Die Referenzwerte der einzelnen Maschinen werden der Reihe nach ermittelt und mit einem maschinenbezogenen Kennwort abgespeichert.

- Im darauffolgenden Überwachungsmodus werden die für die weiteren Maschinenzyklen ermittelten Standardabweichungen  $S(k)$  gemäß Formel (III) als aktuelle Abweichungen gewertet und zum Vergleich mit der Referenz-Standardabweichung  $S_R(k)$  herangezogen werden.

- Hier können verschiedene Kriterien angewandt werden, um aus den Unterschieden oder Abweichungen zwischen aktuellen Standardabweichungen und der Referenz-Standardabweichung das Signal eines eintretenden einer Veränderung bzw. Schadens zu bestimmen. So kann beispielsweise ein vorgegebener Mindestwert für die Abweichung als Maß für einen eintretenden Schaden verwendet werden. Dieser kann frequenzbezogen oder als Mittelmaß über das Spektrum gewählt werden.

- Die Schwierigkeit liegt in der richtigen Beurteilung der Maschinenveränderungen, d. h. in der Relevanz der in der Überwachung ermittelten Vergleichswerte zwischen aktuellen Werten und Referenz.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann zur Beurteilung der Relevanz ein Instabilitätsmaß  $R(k)$  herangezogen werden, das aus den Standardabweichungen wie folgt gebildet wird,

$$R(k) = [S_R(k) + S(k)]/2 \quad (\text{IV})$$

wobei  $R(k)$  das Instabilitätsmaß der k-ten Ordnung ist.

Dabei wird die absolute Abweichung zwischen den nach der Formel (II) errechneten Mittelwerten  $\bar{A}(k)$  der Amplituden der jeweiligen Ordnung mit dem Instabilitätsmaß  $R(k)$  nach folgender Beziehung verglichen:

$$\Delta\bar{A}(k) = |\bar{A}_R(k) - \bar{A}(k)| - R(k) \quad (\text{V})$$

- wobei  $\Delta\bar{A}(k)$  der Änderungsindex der k-ten Ordnung und  $\bar{A}_R(k)$  die im Ausgangsmodus für die Referenz errechnete mittlere Amplitude der k-ten Ordnung ist. D.h., ändert sich der Mittelwert  $\bar{A}(k)$  einer aktuellen Spektrallinie gegenüber dem Mittelwert  $\bar{A}_R(k)$  der Referenzlinie über das Maß der zugehörigen Standard-Abweichung  $R(k)$  hinaus, wird diese Änderung als signifikant gewertet. Die Änderung kann das Signal für eine Unregelmäßigkeit in einem Fertigungsprozeß, das eine Verhaltensänderung der Maschine zur Folge hat und/oder das Eintreten eines Maschinenschaden sein.

Die Summe

$$F = \sum_{k=0}^{N/2} \Delta\bar{A}(k) \quad \text{mit } \Delta\bar{A}(k) \geq 0 \quad (\text{VI})$$

- der signifikanten Änderungen  $\Delta\bar{A}(k)$  wird schließlich als Änderungsindex F für das Signal zur Abschaltung der Maschine verwendet.

Überschreitet der Änderungsindex F einen festzulegenden Erfahrungswert, wird ein Signal zum Abschalten der überwachten Maschine ausgegeben oder die Maschine direkt vom Überwachungsgerät abgeschaltet.

#### Patentansprüche

- Verfahren zur Überwachung von periodisch arbeitenden Maschinen zur Früherkennung von Maschinenveränderungen, bei dem mittels eines Überwachungssensors maschinenspezifische Meßsignale erfaßt werden, die in einer Auswerteeinheit mit einer Referenz verarbeitet werden, dadurch gekennzeichnet, daß eine das Ausgangsverhalten der Maschine (10) dokumentierende Referenz ( $S_R(k)$ ,  $\bar{A}_R(k)$ ) aus einer Serie von Meßsignalen ermittelt und abgespeichert wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren zwischen einem Ausgangsmodus

